

ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОСТРУКТУРЫ И ТВЕРДОСТИ ПРИ НАГРЕВЕ ХОЛОДНОДЕФОРМИРОВАННЫХ УЛЬТРАМЕЛКОЗЕРНИСТЫХ УГЛЕРОДИСТЫХ КОНСТРУКЦИОННЫХ СТАЛЕЙ

Михоленко Д.А., Ефимова Ю.Ю.

Научные руководитель – профессор к.т.н. Копцева Н.В.

Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И.

Носова, г. Магнитогорск

e-mail: vax_demonik@mail.ru

Одним из основных промышленных способов использования углеродистых конструкционных сталей является изготовление крепежа, проволоки и т. д. При этом разработка объемных (крупногабаритных) наноструктурных и ультрамелкозернистых материалов, полученных методом равноканального углового прессования (РКУП), открывает возможности создания новых технологий получения различных стальных полуфабрикатов в виде листов, прутков, проволоки и других металлоизделий, обладающих уникальными физико-механическими и эксплуатационными свойствами.

Разработка технологических процессов получения проволоки и другой метизной продукции невозможна без детального рассмотрения и глубокого исследования эволюции структурных изменений в сталях в процессе РКУП, последующей деформации и нагреве. В процессе волочения ультрамелкозернистой заготовки с большими степенями обжатия происходит значительное упрочнение проволоки, а следовательно снижение пластических свойств, что затрудняет дальнейшее деформирование на необходимый размер. В связи с этим целью работы является исследование особенностей структуры и свойств при нагреве холоднодеформированных углеродистых конструкционных ультрамелкозернистых сталей марок 20 и 45 с целью восстановления пластических свойств.

В работе заготовки из сталей 20 и 45 после улучшения (закалки с высоким отпуском) и обработки методом РКУП подвергались волочению. Для восстановления ресурса пластичности проволоки без значительного снижения прочностных характеристик после волочения (относительное обжатие 91,53 %) производили нагрев до температур 200, 300, 400 и 500 °С с выдержкой при этих температурах 5 мин. и 1 час.

Дифракционный электронно-микроскопический анализ структуры тонких фольг, вырезанных из центральных областей поперечного сечения обработанных образцов, проводили на просвечивающем электронном микроскопе JEM-200СХ в светлом и темном поле при напряжении 160 kV *

Оценка структуры металла производилась на микроскопе «ЭПИКВАНТ» с использованием системы компьютерного анализа изображений SIAMS. Распределение микротвердости по сечению образцов оценивалось методом вдавливания алмазной пирамиды на твердомере ПМТ-3 в соответствии с ГОСТ 9475-76.

При деформировании заготовки из стали, предварительно подвергнутой улучшению и РКУП, происходят следующие структурные изменения):

- наблюдается измельчение зерен феррита по сравнению с состоянием после РКУП: в стали 20 от 300-1000 до 170-250 нм с размером фрагментов 25-50 нм, а в стали 45 – от 200-670 нм до 57-170 нм;

- формируется структура с высокой плотностью дислокаций и со сложным дислокационным строением субграниц, что обеспечивает повышение прочностных свойств;

- происходит частичное растворение карбидов в процессе пластического деформирования и уменьшение их размеров (практически до полного растворения): в стали 20 – от 16-100 нм до размеров менее 15 нм, а в стали 45 – от 16-230 нм до 13 нм и менее.

Как показал проведенный металлографический анализ, микроструктура после нагрева образцов волооченной проволоки диаметром 1,95 мм (относительное обжатие 91,53 %) по сечению образцов во всех случаях оказалась достаточно однородной и характеризуется дисперсным зернистым строением, разрешить которое методами оптической микроскопии не удастся.

Электронно-микроскопическое исследование показало, что в микроструктуре стали 20 (рис. 1 а, б) и 45 (рис. 1 в, г) после нагрева в течение 1 часа при температурах 200 – 300 °С ультрамелкозернистая структура сохраняется, что подтверждает и кольцевой характер микроэлектронограмм. Плотность дислокаций несколько уменьшается по сравнению с холоднодеформированным (волооченным) состоянием.

При нагреве до температуры 500 °С и выдержке 5 мин. в микроструктуре появляются рекристаллизованные зерна феррита, практически свободные от дислокаций, с равновесными тройными стыками зерен. Размер зерен феррита остается ультрамелким, а электронограммы сохраняют в значительной степени кольцевой характер, что свидетельствует о сохранении при этой температуре нагрева УМЗ структуры. В микроструктуре также отчетливо наблюдаются карбидные частицы и обнаруживаются карбидные рефлексy на микроэлектронограммах.

При нагреве холоднодеформированной УМЗ стали 20 до температуры 300 °С, а УМЗ стали 45 – до температуры 200 °С наблюдается повышение твердости (рис. 2), очевидно, в результате выделения растворенного при деформировании углерода в виде дисперсных карбидных частиц. При этом максимально достигнутый уровень твердости в обеих сталях, несмотря на разное содержание углерода, практически одинаков.

При дальнейшем повышении температуры происходит разупрочнение в результате протекания процессов рекристаллизации феррита и коагуляции карбидной фазы.

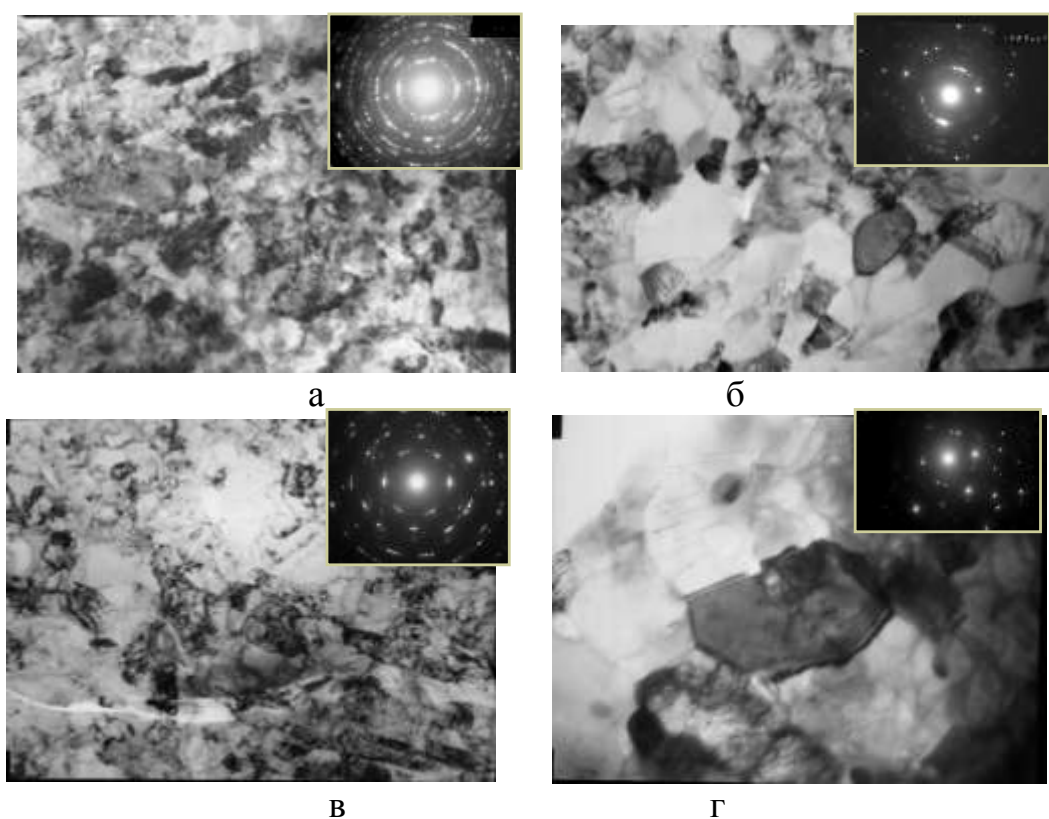


Рис. 1. Микроструктура стали 20 (а, б) и 45 (в, г) после холодного деформирования и нагрева: а, в - 200 °С выдержка 1 час; б, г - 500 °С выдержка 5 мин

Уменьшение твердости по сравнению с холоднодеформированным состоянием в стали 20 происходит только при нагреве выше 400 °С, а в стали 45 – для исследованного диапазона температур не наблюдается. Это позволяет ожидать, что можно повысить ресурс пластичности из УМЗ стали 20 проволоки за счет последующего отжига при температуре 400 – 500 °С.

Рис. 2. Микротвердости сталей 20 и 45 после различных режимов нагрева волоченной проволоки

* – Дифракционный электронно-микроскопический анализ выполнен в Центре коллективного пользования Институте физике металлов УрО РАН, г. Екатеринбург